

П.А. КАЧАНОВ, д-р техн. наук, проф. каф АУТС “НТУ ХПИ”,
А.А. БОНДАРЬ (г.Харьков)

ВИРТУАЛЬНОЕ ПРОСТРАНСТВО В НЕЛИНЕЙНОЙ ПЕРСПЕКТИВЕ

В статті розглянуті методи лінійної та нелінійної перспективи. Розглянуто застосування нелінійної перспективи в візуалізації.

In article is dedicated methods linear and nonlinear prospect. Rassmotrenno using the nonlinear prospect in visualizations.

Анализ литературы. В работе [1] рассмотрена теория оптических приборов. В [2] рассмотрены основы интерактивной машинной графики и свойства линейного проективного преобразования. В [3] рассмотрена программная система для разработки виртуальных сред на персональной ЭВМ, использование компьютерной графики, а в [4] – рассмотрены линейная и нелинейные перспективы.

Постановка проблемы. Текущий момент характеризуется небывалым ростом информации, которое необходимо обрабатывать для поддержания прогресса в развитии современной цивилизации. Объем данных растет быстрее, чем производительность компьютеров, которая, следуя закону Мура, удваивается каждые полтора года. А данные, помимо порождения компьютерами, извлекаются и непосредственно из самой природы с помощью всевозможных детекторов и сенсоров, быстроедействие которых также следует экспоненциальному росту. Важнейшей вехой на пути преодоления "кризиса данных" стал отчет Национального научного фонда США "Визуализация в научных вычислениях" (1987 г.), подчеркнувший важность интерактивной визуализации больших массивов данных и обративший внимание научной общественности на знаменитый афоризм Хемминга: "Целью вычислений являются не числа, а понимание (постижение, проникновение в суть, интуиция, insight)". В результате было сформировано новое научное направление "Научная визуализация", которое в свою очередь тесно связано с компьютерной графикой.

Цель статьи. Главной задачей компьютерной графики является создание реалистичных изображений, которые воспроизводят картину окружающего пространства в соответствии со зрительными ощущениями человека. В настоящее время компьютерная графика – это отрасль производства, которая включает в себя и разработку систем автоматизированного проектирования, и создание визуальных эффектов в

кинематографии, и производство компьютерных игр, и конструирование симуляторов.

Одной из областей применения компьютерной графики является тренажеростроение. Тренировка космонавтов, пилотов, операторов сложных систем на реальных установках и в реальных условиях слишком дорога, а часто и очень опасна. Альтернативой этому является создание имитационно-тренажерных комплексов, которые в максимально возможной степени приближены к реальным установкам и позволяют тренирующимся приобрести правильные и устойчивые навыки.

Сейчас в компьютерной графике для передачи на экране монитора геометрии трехмерной сцены применяется линейная перспектива. Это изобретение эпохи Возрождения, лежащее в основе фотографии, кинематографа, телевидения и компьютерной графики, используется для имитации пространства на плоских изображениях. Линейное преобразование, характерное для таких оптических систем как линза, объектив или окуляр [1], принято в компьютерной графике [2] и успешно используется [3] несмотря на существенные недостатки, связанные с искажениями естественного зрительного восприятия. Академик Б.В.Раушенбах пишет [4]: «Можно лишь поражаться тому, какую массу искажений естественного зрительного восприятия несет система перспективы, которая столетиями считалась идеалом точного, научного способа передачи пространства на плоскости картины». Б.В.Раушенбах предложил систему нелинейной перспективы, названную перцептивной. К сожалению, и эта система имеет недостатки, и может найти лишь ограниченное применение в компьютерной графике.

Нарушение зрительного восприятия является следствием неверного представления, что глаз подобен фотоаппарату, а также того, что движениям глаза не придается существенного значения.

Вместе с тем применение линейной перспективы в компьютерной графике для решения задач визуализации трехмерных сцен, не может удовлетворить современным требованиям, предъявляемым к реалистичности изображений.

В согласии с оптикой солинейного сродства и оптикой Гаусса [1] линейное проективное преобразование связывает пространство объектов и изображений, заданных в декартовых прямоугольных системах координат xuz и $x'y'z'$, следующими формулами:

$$x' = -xf / z; y' = -y / z; z' = -ff / z, \quad (1)$$

где f и f' соответственно фокусные расстояния переднего и заднего фокусов оптической системы.

Первые две формулы определяют двумерные координаты плоского

изображения, третья - формула Ньютона - определяет расстояние вдоль оси z' , совпадающей с оптической, или зрительной, осью. Свойства линейного проективного преобразования хорошо изучены [2], но, пожалуй, самым замечательным является то, что гомоцентрический пучок лучей пространства объектов с пересечением в центре проекции преобразуется формулами (1) в пучок лучей, параллельных зрительной оси в пространстве изображений, и, наоборот, параллельный пучок лучей пространства объектов становится гомоцентрическим в пространстве изображений.

Линейная перспектива, несмотря на классическую древность, несмотря на блестящие успехи ее применения не только в компьютерной графике, но, главным образом, в сфере коммуникации, образования, культуры, сохранила и свои недостатки, не позволяющие использовать ее для выявления пространства при больших полях наблюдения и на малых расстояниях до объектов.

Первыми критиками линейной перспективы стали художники, которые отображали окружающий мир по-своему, каким воспринимали его визуально. На базе анализа геометрических построений в живописи разных эпох от древнего Египта до импрессионистов академик Б.В. Раушенбах разработал основы теории системы перцептивной перспективы [4], которая включает линейную перспективу как частный случай.

Нелинейная перспектива по Б.В. Раушенбаху. Система перцептивной перспективы получается путем перенесения на плоскость геометрических свойств перцептивного пространства, которое, согласно [4], возникает в человеческом сознании путем “растяжения” и “сжатия” линейного пространства изображений. Свойства перцептивного пространства, следуя психологии зрительного восприятия, определяются действием механизмов константности величины и формы [4].

Механизм константности величины связан с компенсацией уменьшения изображения объектов по мере их удаления от наблюдателя. В зоне непосредственного окружения человека (в радиусе единиц метров) эта компенсация почти полная и линейная перспектива фактически заменяется аксонометрией. Поскольку единственной переменной, от которой зависит численная величина “растяжения” и “сжатия”, является расстояние вдоль зрительной оси, то считается, что деформациям будет подвержено все воспринятое пространство.

Механизм константности формы, не деформируя остальное пространство, связан с конкретным предметом, и поэтому локальная деформация пространства может меняться при замене одного предмета другим, что создает известные трудности однозначного воспроизведения перцептивного пространства.

Поэтому говорят о системе перцептивной перспективы в узком смысле слова, учитывая лишь механизм константности величины. “Жесткая”

перцептивная перспектива определяется следующим проективным преобразованием:

$$x'' = -xF(z)/z, y'' = -y \int \frac{F(z)dz}{z^2}, z'' = -\int \frac{F(z)dz}{z^2}, \quad (2)$$

где $F(z)=1+\arctg(z-z_0)$ - непрерывная и монотонная функция расстояния от наблюдателя, предложенная Б.В.Раушенбахом. Функция удовлетворяет следующим условиям: $F(z_0)=1$, где z_0 - расстояние до плоскости проекции; $F(\infty)=1+\pi/2$; $dF/dz(z_0)=1$. Количественное соответствие выбранной зависимости $F(z)=1+\arctg(z-z_0)$ опыту зрительного восприятия человека подтверждено экспериментальным путем [4].

На рис.1 в одинаковых масштабах показаны сечения плоскостями $y'=y''=0$ двух пространств изображений: линейного и деформированного функцией $F(z)$ при $z_0=1$.

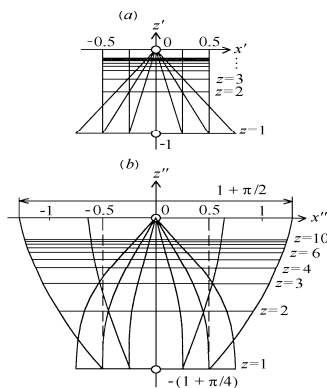


Рис.1. Пространство изображений:
а – линейное, б – нелинейное.

Рассмотрим, как преобразуются гомоцентрический и параллельный пучки из линейного пространства в нелинейное. Гомоцентрический пучок, соответствующий параллельным линиям пространства объектов и отражающий само понятие “перспективы”, превращается в гомоцентрический криволинейный пучок, причем на малых расстояниях до объектов ($z \rightarrow 1$, $z'' \rightarrow -1-\pi/4$) отчетливо проявляется механизм константности величины, поскольку линии гомоцентрического пучка практически параллельны. На больших

расстояниях ($z \rightarrow \infty$, $z'' \rightarrow 0$) гомоцентрические пучки в линейной и нелинейной перспективах практически совпадают.

Параллельный пучок линейного пространства изображений отражает линии визирования или линии взгляда, вдоль которых осуществляется интерпозиция объектов и удаление элементов поверхностей, скрытых более близкими объектами. К сожалению, этот пучок также деформируется и, расширяясь по мере удаления от наблюдателя, увеличивается по оси Ox'' на “бесконечности” в $1 + \pi/2 \approx 2,57$ раза. Чтобы сохранить “константность” величин, проекцию на плоскость и удаление невидимых поверхностей необходимо производить вдоль линий, параллельных оси z'' , но в таком случае нарушается интерпозиция объектов. Таким образом, предложенная нелинейная перспектива не дает интерпозиционных искажений в тех случаях, когда нет необходимости удалять невидимые поверхности, например, при отображении подстилающей земной поверхности. Во всех остальных случаях при использовании нелинейной проекции на плоскость неизбежно возникают искажения. Преобразование (2) не изотропно. Наибольшие искажения возникают при отображении вертикальных отрезков прямых, расположенных вблизи от наблюдателя, т.е. там, где проявляется механизм константности величины. В [4] показано, что без искажений передать перцептивное пространство на плоскости принципиально невозможно. Например, невозможно изобразить на плоскости полый бесконечный цилиндр, расположенный вдоль зрительной оси, поскольку проекция образующей цилиндра оказывается больше проекции ближнего радиуса обреза цилиндра; невозможно без искажений отобразить интерьер комнаты, хотя каждую стену, потолок и пол по отдельности изобразить можно.

Выводы. Таким образом, нелинейная перспектива включает механизм константности величины на малых расстояниях и линейную перспективу - на больших. В результате возникает аксонометричность близких предметов, увеличиваются в размерах удаленные предметы, и, кроме того, проявляется удивительный эффект обратной перспективы при монокулярном наблюдении предметов в ракурсе [4]. Существенным ограничением предложенной системы является нарушение интерпозиции объектов, что не дает возможности отобразить на плоскости трехмерное пространство однозначно и неискаженно.

Список литературы: 1. Чуриловский В.Н. Теория оптических приборов – М., Л.: Машиностроение, 1960. – С.125-130; 2. Ньюмен У., Спрулл Р. Основы интерактивной машинной графики – М.: Мир, 1976. – С.40-45; 3. Белаго И.В., Некрасов Ю.В., Романовский А.В., Тарасов Ю.В. Программная система для разработки виртуальных сред на персональной ЭВМ // Автометрия. – 1996, №2. – С.30-36; 4. Раушенбах Б.В. Пространственные построения в живописи. Очерк основных методов. Приложения 1-9 // М.: Наука, 1980. – С.35-47.

Поступила в редколлегию 16.07.08